

Les recherches agronomiques conduites par l'I.R.C.T. dans le Sud-Ouest de Madagascar (1952-1974)

par S. CRETENET (1), M. BRAUD (2) et R. KAISER (3)

INTRODUCTION

Les auteurs ont repris les résultats des travaux conduits par les agronomes de l'I.R.C.T. depuis 1952, dans le sud-ouest de l'île.

En raison des contraintes d'ordre phytosanitaire, ces agronomes ont été amenés à concevoir et à développer des programmes de culture intensive pour assurer la rentabilité de la production cotonnière. On constatera que les problèmes abordés ont toujours été traités dans l'optique d'une optimisation de la productivité.

Très schématiquement, fin 1974, la situation se présentait comme suit :

— Les techniques culturales étaient maîtrisées : dates de semis, travaux culturaux et irrigations avaient fait l'objet de nombreuses études, et les résultats obtenus avaient pu être mis à la disposition de la vulgarisation.

— Les problèmes posés par la fertilisation présentaient deux aspects :

- d'une part, celui de la nutrition azotée pour laquelle l'expérimentation avait permis de définir les doses et les modalités d'application ;
- d'autre part, celui de l'évolution générale de la fertilité qui avait fait l'objet d'études particulières appelées à se poursuivre. A ce titre, il faut souligner l'introduction de techniques telles que l'enfouissement des tiges de cotonnier après broyage, la jachère et la culture dérobée de *Dolichos lablab*, l'assolement coton-*Phaseolus lunatus*, le fractionnement de la fumure azotée et la définition des fumures minérales pour les différentes conditions de culture.

— Une activité importante avait été déployée dans le domaine de l'utilisation des herbicides et avait débouché sur des solutions vulgarisables. De nouvelles possibilités d'application « low volume » apparaissaient fin 1974 avec les produits « flowable » et les matériels d'application « hand spray ».

— L'évolution de la salure avait été étudiée et l'importance de ce facteur mise en évidence en culture irriguée.

— L'utilisation des oligo-éléments a fait l'objet d'études assez détaillées et a débouché sur des possibilités d'application.

Tous ces travaux ont été réalisés dans un cadre pluri-disciplinaire et en liaison étroite avec le développement. Si un certain nombre de résultats ont été obtenus, la tâche est loin d'être terminée : en effet, le maintien ou l'amélioration des hauts niveaux de production, atteints en grande culture grâce à l'intervention d'un encadrement de grande qualité, poseront de nouveaux problèmes aux chercheurs qui ont pris la relève des agronomes de l'I.R.C.T.

L'exposé des résultats se fera en tenant compte des trois formes de culture pratiquées dans le Sud-Ouest de Madagascar :

- culture irriguée dans la zone côtière ;
- culture pluviale plus à l'intérieur ;
- culture de décrue dans le bassin de la Tsiribihina.

LA CULTURE IRRIGUÉE

sols alluvionnaires de la plaine de Tuléar, les sables dunaires de Tuléar, le delta du Bas-Mangoky.

La culture irriguée du cotonnier est pratiquée dans le sud-ouest de Madagascar, dans trois situations : les

Chacune d'entre elles, posant des problèmes particuliers, va être étudiée séparément sous ses trois aspects principaux : le maintien de la fertilité, les techniques culturales et, s'il y a lieu, les problèmes qui lui sont propres.

1. Directeur technique de l'I.R.C.T. Paris.

2. Directeur de la Division d'Agro-Economie de l'I.R.C.T. Montpellier.

3. Agronome I.R.C.T., Maroua, Cameroun.

LES SOLS ALLUVIONNAIRES DE LA PLAINE DE TULÉAR

Le maintien de la fertilité

En culture cotonnière continue sans fertilisation, il y a, au cours des 4 ou 5 premières années, une baisse de rendement de 25 à 30 %, pour aboutir à une stabilisation au niveau de 2,5 t/ha (puis de 2,3 avec de nouvelles variétés mieux adaptées).

Année	Rendement (t/ha de coton-graine)	Observations
1959	3,460 (100 %) (1)	Acala 442
1960	3,460 (100 %)	Acala 442
1961	3,285 (95 %)	Acala 442
1962	2,840 (82 %)	Acala 442
1963	2,460 (71 %)	Acala 442
1964	2,418 (70 %)	Acala 442
1965	2,725 (79 %)	Acala 442
1966	1,747 (50 %)	Acala 442
1967	2,551 (74 %)	Acala 442
1968	2,387	Acala 1517 C - semis normal
1969	2,590	Acala 1517 BR - semis précoce
1970	2,544	Acala 1517 BR - semis précoce
1971	2,403	Acala 1517 BR - semis précoce
1972	3,523 (3)	Stoneville 7A - semi précoce
1973	2,835	Stoneville 7A - semi précoce
1974	2,896	Acala SJ 1

(1) Première année de culture cotonnière.

(2) Mauvaises conditions culturales.

(3) Année très favorable pour la culture du cotonnier.

On peut ralentir ou redresser cette évolution en tirant un meilleur parti de l'alluvionnement ou bien en faisant appel à la fumure organique ou à la fertilisation minérale azotée.

Le rôle de l'alluvionnement

La moyenne générale du taux d'éléments solubles contenus dans l'eau d'irrigation venant du Fiherenana est importante et de l'ordre de 2,3 g/l, pendant la période d'arrosage du cotonnier.

Compte tenu des variations de pluviosité, la dose moyenne d'irrigation au cours de la campagne cotonnière peut être estimée à 9 000 m³/ha (dont 20 % de perte), ce qui amène un dépôt solide de l'ordre de 20 t/ha, correspondant à une couche de 1,3 à 1,5 mm par an. La composition de ce dépôt apporté par l'alluvionnement est donnée par le tableau ci-dessous.

Cet apport joue d'abord un rôle physique :

- par un effet possible de colmatage au cours de la campagne ;
- en entraînant une évolution de la texture des sols dans les horizons superficiels.

Par sa réincorporation au cours des diverses opérations culturales, le taux d'éléments fins s'accroît d'environ 0,7 % par an, dans l'horizon 0-20 cm, et le taux d'argile augmente annuellement de 0,4 %. Ces apports peuvent paraître plus ou moins sensibles, selon la nature des sols intéressés par l'irrigation.

Sur le plan chimique, le dépôt solide conduit à des apports d'éléments fertilisants importants (pour 20 t/ha de dépôt solide) :

CaO total (3,008 %) = 628 kg/ha

K₂O total (0,812 %) = 169 »

P₂O₅ total (0,108 %) = 22,5 »

N total (0,0725 %) = 15 »

P₂O₅ assimilable (0,08 %) = 1,6 kg/ha.

Les bases sont abondantes, particulièrement la chaux. Par contre, les apports de P et de N sont très faibles.

Les eaux d'irrigation apportent elles-mêmes une quantité d'éléments fertilisants importants (pour 9 000 m³/ha) :

CaO : 696 kg/ha

MgO : 191 »

K₂O : 84 »

Na₂O : 113 »

So₃ : 468 »

Cl : 132 »

Ce sont des informations dont il conviendra de tenir compte dans un plan de fertilisation, en apportant une attention particulière à P et N.

Granulométrie du dépôt solide

	Argile (%)	Limon (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)
Moyenne janvier	64,6	24,8	12,9	0,2
Moyenne février	59,5	24,5	20,8	0,1
Moyenne mars	59,1	20,2	21,3	2,0
Moyenne avril	53,0	31,8	12,7	0,5
Moyenne mai	65,6	8,0	24,8	0,3
Moyenne générale	60	21,5	18	0,5

La qualité des eaux est telle que le danger d'alcalinisation est faible. La conductivité moyenne est de 317,5 micromohs/cm. La teneur en Na est de 0,50 mEq/l, la somme Ca + Mg est de 3,82 mEq/l, ce qui donne un SAR (taux d'adsorption du sodium

Na⁺

défini par le rapport $\sqrt{\frac{Ca^2 + Mg^2}{2}}$ de 0,365.

Selon la classification de RIVERSIDE, les eaux de Fiherenana sont utilisables pour l'irrigation de tous les sols. La faible valeur du SAR peut même rendre possibles certaines cultures sensibles au sodium.

La matière organique

Le maintien d'un taux de matière organique peut

être obtenu par deux voies possibles : les apports réguliers de fumier de ferme et l'enfouissement des résidus de récolte.

Le fumier de ferme a été expérimenté pendant trois années consécutives, par des applications cumulées à raison de 10 t/ha/an. On a observé un gain de 400 kg/ha de coton-graine seulement en deuxième année. Par contre, l'effet sur le développement des adventices est important.

L'enfouissement des résidus de récolte (tiges, feuilles, carpelles et pivots) est testé dans un essai pérenne, en présence d'une fumure minérale azotée homogène de 100 kg/ha d'urée par an, avec les résultats suivants :

Années	A = cotonniers enlevés chaque année	B = cotonniers enfouis chaque année	B — A
1969	3 405	4 110	+ 705*
1970	4 089	4 820	+ 731**
1971	2 912	2 855	— 57
1972	4 537	4 750	+ 213**
1973	4 656	4 589	— 67
1974	4 472	4 738	+ 266*
Moyenne	4 012	4 310	+ 298

*, ** : significatif à P = 0,05 ou P = 0,01.

L'enfouissement des résidus de récoltes entraîne donc sur six années un gain moyen de l'ordre de 300 kg/ha de coton-graine.

Un deuxième essai pérenne, en cours, compare l'enfouissement et le brûlis des résidus de récolte en combinaison avec l'absence ou la présence de fumure azotée. Il prévoit également l'étude des exportations par la plante et l'évolution de l'état minéral et organique du sol.

La fertilisation minérale

L'étude de l'alluvionnement a mis l'accent sur l'importance relative du phosphore et de l'azote.

Notre effort en matière de fertilisation minérale a donc porté essentiellement sur ces deux éléments.

Le problème du phosphore

Trois types de résultats sont disponibles pour étudier l'importance relative du phosphore : des résultats agronomiques, des résultats d'analyses de sols, des résultats d'analyses foliaires.

Deux essais réalisés, l'un à Befanamamy pendant trois ans, l'autre sur la station de Tuléar, montrent que l'effet sur le rendement d'apports phosphatés cumulés est nul, cette absence d'effet est constatée quelle que soit la forme de phosphore.

	1968	1969	1970	1971	1972
1. Témoin sans engrais	2 387	2 590	2 544	2 403	3 523
2. N (apports fractionnés)	3 384	4 188	5 260	3 566	4 738
3. N (apports fractionnés) + P (triple super)	3 569	4 381	5 362	3 584	—
4. N (apports fractionnés) + P (du phosphate NH ₄)	—	—	5 496	3 536	4 736

Des analyses de sols, réalisées selon la méthode OLSEN modifiée par DABIN, sur des échantillons pré-

levés sur l'essai précédent, donnent les résultats suivants (P₂O₅ en ppm) :

Objets	Horizon 0-15 cm	Horizon 15-30 cm	Moyenne
1. Témoin sans engrais	171	159	165
2. N (apports fractionnés)	161	154	158
3. N + triple super	207	174	191
4. N + P du phosphate NH^4	206	156	181

Si on note une tendance, non significative, à un épuisement des réserves en P_2O_5 , légèrement accentuée par la fumure azotée, il n'en demeure pas moins que nous sommes encore largement au-dessus du

seuil critique de 50 ppm établi pour les sols tropicaux.

Les résultats d'analyses foliaires, toujours sur ce même essai, sont les suivants :

Traitement	Limbes				Pétioles			Poids 30 feuilles	
	N org. (% ms)	S (% ms)	P (% ms)	B (ppm)	K (% ms)	Ca (% mg)	Mg (% mg)	limbes (g)	pétioles (g)
1. Témoin 0 ..	3,78	1,53	0,28	58	5,86	2,48	0,52	14,7	3,2
2. NP	3,83		0,28					17,9	3,9
3. N seul	4,25		0,24					18,5	4,1
4. NP	3,75	1,47	0,25	62	5,86	2,14	0,53	17,5	4,1

Le niveau critique pour P, donné par la formule

$$5,87$$

$$1,45 \times p \times 12,45 \times S - 7,11$$

où p = poids de l'échantillon foliaire,

S = teneur en soufre,

est compris entre 0,13 et 0,16 % pour ces quatre traitements, donc très largement inférieur aux valeurs de P observées. Nous sommes donc dans d'excellentes conditions de nutrition phosphatée.

Ces trois faisceaux de résultats, parfaitement concordants, montrent que dans le delta du Fiherenana le problème phosphore n'est pas un problème actuel en culture cotonnière. Il convient de noter, malgré tout, que le C.R.A. de Tuléar a obtenu, en 1974, un effet positif de l'apport de P_2O_5 sur culture de maïs, à Befanamy, après 15 années de culture cotonnière continue. C'est donc un problème à suivre par des contrôles de diagnostic foliaire à intervalles réguliers.

Le problème de l'azote

Compte tenu de l'importance de cet élément en culture cotonnière, l'étude de la fertilisation azotée a représenté une très grande part des travaux réalisés au cours de la période sous revue.

Les besoins en azote sont très importants à partir du maximum de floraison (90^e jour) et exigent l'application de la plus grande partie de l'engrais azoté aux environs du 70^e jour de végétation.

En absence d'enfouissement des cotonniers, les meilleurs résultats ont été obtenus à faible dose (150 kg/ha d'urée) avec une seule application à 65-70 jours. Le gain de production est alors de 700-800 kg/ha de coton-graine par rapport à un témoin de 2,6 t/ha. En doublant la dose (300 kg/ha d'urée), le fractionnement, moitié à 30 jours, moitié à 70 jours, devient plus intéressant en permettant un gain de 1 250 kg de coton-graine.

Mais la généralisation des enfouissements de cotonniers et des semis précoces a accentué les besoins du jeune âge, en faisant apparaître un faim d'azote lors des premiers stades du développement. Pour limiter le nombre d'apports d'engrais azotés, des engrais à nitrification lente ont été essayés, appliqués à l'enfouissement des cotonniers. Les ralentisseurs de nitrification, les engrais de type urée-formol, puis l'application d'urée à l'enfouissement des cotonniers ont été étudiés successivement. La cyanoguanidine, associée à l'urée ou au nitroform (urée-formol à 38 % d'azote), n'a apporté aucune amélioration significative par rapport à l'urée appliquée dans les mêmes conditions. L'urée appliquée à l'enfouissement des cotonniers (1971-72, 1972-73, 1973-74) provoque régulièrement un effet précoce sur la taille des plants au moment du demariage. Par contre, aucun effet positif sur le rendement final de la culture n'a été observé, exception faite pour la campagne 1973-74, au cours de laquelle des pluies abondantes et régulières ont créé un milieu asphyxique après les irrigations appliquées à la levée.

Avec enfouissement des cotonniers, l'effet dose d'urée est récapitulé dans le tableau ci-dessous. Le rendement maximal semble obtenu avec une dose de 400 kg/ha d'urée apportant un accroissement de pro-

duction de plus de 900 kg/ha par rapport à un témoin dont la productivité est de l'ordre de 4 t/ha de coton-graine.

Dose urée (kg/ha)	0	100	200	250	300	400	450	500	550	600	700
Année											
1970	3 228	3 982	4 687	—	5 182	5 475	—	—	—	—	—
1971	2 549	2 983	3 117	—	3 478	3 608	—	3 457	—	3 650	—
1972	—	5 152	—	5 565	—	5 817	—	—	5 693	—	—
1973	—	3 610	—	4 074	—	4 256	—	—	4 438	—	4 395
1974	3 896	4 401	4 808	—	4 790	4 814	—	—	—	—	—

Le problème azote s'est compliqué au cours de ces dernières années, en raison d'arrière-effets impor-

tants de la fertilisation azotée. Ce phénomène est illustré par le tableau suivant :

Objets	Années		
	1972	1973	1974
1. Témoin absolu :			
cotonnier sans fumure azotée de 1967 à 1974 ;			
cotonnier enfoui de 1968 à 1974	2 403	2 835	2 896
2. Sans fumure azotée depuis 1972 ;			
cotonnier enfoui de 1968 à 1974	3 584	3 608	3 272
Différence	1 181*	773*	376*

* Significatif à $P = 0,05$.

Les résultats antérieurs obtenus sur cet essai avaient montré qu'il n'y a pas de différence entre cotonniers enfouis et brûlés, en présence de fertilisation azotée. Les résultats ci-dessus montrent que l'arrière-effet de la fumure azotée (en présence de cotonniers enfouis) s'atténue avec le temps, mais est encore nette après deux années de culture.

Les résultats de 1974 de l'essai de modalités d'apport de fumure azotée de 1973-74, implanté sur une parcelle voisine ayant reçu uniformément 300 kg/ha d'urée au cours des deux campagnes précédentes, confirment cette observation :

- objet sans fumure azotée depuis 1967 :
2 896 t/ha ;
- objet sans fumure azotée seulement en 1973-74 :
3 896 t/ha.

Le rôle de la rotation, plus précisément des précédents culturaux, n'est pas négligeable dans la fertilisation azotée du cotonnier. Par exemple, une culture dérobée de pois du Cap (*Phaseolus lunatus*) après cotonniers permet, sur vertisols, l'économie de 100 kg d'urée (200 kg/ha au lieu de 300), tout en assurant un rendement identique à 160 jours.

Sur le même type de sols, le même précédent, avec une fumure de 300 kg/ha assure un surplus de rendement de 300 kg de coton-graine à 160 jours et de 400 kg/ha à 225 jours.

Il y a donc là une source d'économie de la fertilisation azotée et une incitation à l'étude des rotations coton-maïs-pois du Cap, en remplacement du coton continu.

La complexité croissante du problème azote fait apparaître la nécessité de pouvoir disposer d'un indice de la nutrition azotée de la plante dans le sol.

L'arrière-effet de l'azote, dans les conditions de sols et de culture de la station de Tuléar, est donc indéniable. Il serait dangereux de négliger les précédents en matière de fertilisation (au moins sur 2 ans) et de ne tenir compte que de l'apport au cours de la campagne, pour établir des relations entre fumure et rendement. Le rendement annuel intègre l'effet de la fumure apportée au cours de la campagne et les arrière-effets sur 2 ans au minimum.

Dans une telle situation, il faut, soit envisager des programmes pérennes comportant des objets corres-

pendant à une fumure uniforme répétée dans le temps, soit rechercher un ou des paramètres dans le sol ou dans la plante en relation avec le rendement. La seconde formule nous paraît présenter un caractère plus souple et plus général.

Le dosage des nitrates dans les pétioles constitue une première approche. Par exemple, pour les rendements de 1973, l'équation de régression multiple entre le rendement en coton-graine et les teneurs des pétioles en NO_3 correspond à 40,2 % de la variance expliquée.

$$Y = 4305 + \frac{171852}{x_{65}} - \left(\frac{37803}{x_{65}} + \frac{15956}{x_{105}} \right)$$

Où :

Y = kg/ha coton-graine.

x_{35} = teneur en NO_3 à 35 jours en 10^3 ppm.

x_{65} = teneur en NO_3 à 65 jours en 10^3 ppm.

x_{105} = teneur en NO_3 à 105 jours en 10^3 ppm.

La dose de fumure azotée conduisant au rendement maximal a été précisée plus haut. Il est non moins important de déterminer la dose correspondant à l'optimum économique, particulièrement dans le contexte d'un marché fluctuant. Pour atteindre cet objectif, un essai d'ajustement de la courbe de réponse à la fumure azotée à une portion de parabole (méthode des moindres carrés) est proposée :

On obtient une équation $Y = ax^2 + bx + c$.

La validité de l'ajustement repose sur les tests $\frac{sa}{sb}$ et $\frac{a}{b}$.

CALCUL DE LA FONCTION $X = f(px, py)$:

Soit :

Y = rendement coton-graine en kg/ha.

X = le nombre de kg d'urée (ou d'unités d'azote).

px = le prix de l'unité d'engrais (ou d'azote).

py = le prix du kg de coton-graine.

Supposons que nous ayons obtenu précédemment une fonction :

$$Y = f(x) = ax^2 + bx + c,$$

dont les coefficients a et b sont significativement différents de zéro.

Nous choisirons comme dose optimale d'engrais la dose correspondant au maximum de marge brute, c'est-à-dire celle pour laquelle le coût de la dernière augmentation dx de la fumure est égal à la valeur de l'augmentation de rendement dy qui en aura résulté. Nous avons par définition l'égalité suivante :

$$dx \cdot px = dy \cdot py,$$

d'où :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{px}{py} \text{ et à la limite } y' = \frac{px}{py}.$$

$$\text{Par ailleurs, } y' = 2ax + b, \text{ d'où : } \frac{px}{py} = 2ax + b.$$

Nous pouvons alors établir une fonction :

$X = f(px)$ avec py comme paramètre permettant de définir la dose d'engrais optimale en fonction du prix de l'engrais et de celui du coton-graine :

$$X = px \cdot \frac{1}{2a \cdot py} - \frac{b}{2a}.$$

Nous pouvons construire une abaque comportant un faisceau de droites dont le nœud a pour coordonnées b

$px = 0$ et $\frac{b}{2a}$ (rendement maximal si l'engrais

est gratuit) et dont l'intersection avec l'axe des abscisses est donnée par $PX = py \cdot b$ (la dose d'engrais devient nulle lorsque le rapport des prix de l'engrais et du coton est égal à b).

Les oligo-éléments

Les essais d'apport de divers oligo-éléments n'ont eu aucun effet positif. Ce résultat paraît logique si on tient compte des quantités de bore, de fer, de cuivre, de manganèse et de molybdène existant dans les eaux d'irrigation.

Les techniques culturales

La date de semis

Jusqu'en 1967, on appliquait le principe de germination sous pluie, et les essais avaient montré la supériorité du démarrage le plus précoce, c'est-à-dire de celui qui correspondait à un semis en sec avant les premières grosses pluies ; or, celles-ci n'arrivaient en moyenne que fin décembre.

A partir de 1968, des dates plus précoces ont été expérimentées avec démarrage sous irrigation.

Des résultats positifs ont été obtenus au cours des trois premières années : les rendements par date de semis étaient en régression linéaire significative et correspondaient aux pertes de rendements figurant au tableau page 275, par jour de retard au semis :

Les conditions expérimentales de la campagne 1971-72 n'ont pas permis de tirer de conclusions valables de cet essai.

Au cours de la campagne 1972-73, les semis du 24 et du 27 décembre se sont avérés plus favorables que ceux des 15 et 30 novembre. Par contre, au cours de la campagne 1973-74, nous retrouvons l'effet

Année	Régression entre les dates de semis suivantes	Perte par jour de retard dans le semis (cycle de 220 jours)
1968-69	30-11 au 15-01	38 kg
1969-70	15-11 au 31-12	19 kg
1970-71	15-11 au 31-12	22 kg

positif des semis précoces avec une perte de 26 kg/ha par jour de retard entre le 20 novembre et le 30 décembre. (Toutefois, les semis tardifs ont été placés dans des conditions plus défavorables que les semis précoces, la préparation des sols ayant eu lieu en même temps.)

Ces résultats, dans leur ensemble, sont en relation directe avec la somme des températures observées pendant les 150 premiers jours de la végétation.

Cette étude devrait être précisée grâce aux travaux d'éco-physiologie entrepris, et complétée par une étude fréquentielle des paramètres les plus importants permettant de définir la date optimale de semis sous l'angle probabilité. En effet, si les semis précoces ont une action positive, non seulement sur les productivités, mais également sur les facilités d'entretien des cultures en début de cycle, ils ont, par contre, tendance à abaisser la qualité des premières récoltes, par suite d'une importante pourriture des capsules.

Les densités

L'étude du facteur densité avait pour objet principal la réduction de l'exubérance végétative. Dans un premier temps, on a fait varier les deux composantes de la densité interligne et interplant. Puis, en 1972, on a essayé la technique des hautes densités.

Les premiers essais (1961 à 1967), comparant des densités comprises entre 20 000 et 100 000 plants/ha, ne mettent pas en évidence de différences très nettes, mais la densité théorique de 60 000 plants/ha apparaît la plus satisfaisante.

Plus récemment, on a combiné les variations interplants et interlignes.

En 1968-69, en dessous de 30 000 plants/ha (réels) et pour un niveau de production moyen de 4,5 t/ha, le nombre de fleurs et le rendement sont en relation directe avec la densité. L'effet de l'espacement entre les lignes est le suivant : nombre de fleurs supérieur avec un faible espacement, rendement supérieur avec les espacements de 90 et 105 cm (lignes jumelées de 70 + 140 cm), diminuant avec des espacements plus larges ou plus serrés.

En 1969-70, la densité varie de 44 000 à 55 000 plants/ha (réels), l'espacement des lignes entre 70 et 135 cm, et le niveau moyen de rendement de l'essai est de 5,7 t/ha : le nombre de fleurs est en relation directe avec la densité et en relation inverse avec l'espacement des lignes ; le rendement est influencé

uniquement par la densité (relation directe) ; la hauteur des plants et le rapport rendement/hauteur sont affectés uniquement par l'espacement entre lignes (un faible espacement réduisant la hauteur et augmentant le rapport rendement/hauteur) ; la précocité, le rendement à l'égrenage et les qualités de la fibre ne sont pas affectés ; il s'avère, en outre, que les grands espacements n'ont pas facilité le passage pour les traitements insecticides manuels, comme on aurait pu l'espérer, les cotonniers se couchant vers les interlignes.

En 1970-71, la comparaison entre la plantation au carré (45 × 40) et la plantation normale (90 × 20) donne les résultats suivants : à densité de plantation égale, au niveau 55 000 plants/ha, la disposition la plus régulière des plants sur le terrain réduit la hauteur et augmente le nombre de fleurs et de capsules, ce qui se traduit par une légère augmentation de rendement à 200 jours. Toutefois, il y a compensation à 235 jours.

En 1972-73, on a comparé à la densité normale (55 000 plants/ha : 90 cm × 20 cm) des hautes densités obtenues par semis à la volée (350 000 plants/ha). Cet essai apporte les conclusions suivantes :

La haute densité, dans les conditions de culture irriguée de Tuléar, ne présente aucun intérêt, ni en ce qui concerne le rendement, ni en ce qui concerne la précocité. Sur vertisols, la compensation permet d'obtenir tardivement des rendements voisins de ceux du témoin. Sur les sols plus légers, le rendement avec les hautes densités ne représente que 75 % des rendements obtenus avec les densités normales.

Les régulateurs de croissance

Toujours dans le même souci de limiter l'exubérance et la verse, deux modificateurs de croissance ont été expérimentés pendant deux ans : L'ALAR n'a eu aucun effet, le CCC, même à faible dose, réduit toujours le rendement en même temps que la taille, et retarde la fructification.

Entre-temps, le problème de l'exubérance végétative a été sensiblement modifié et en grande partie résolu par des semis très précoces et des apports d'azote dirigés davantage sur la phase de fructification, ce qui a amélioré le rapport rendement/hauteur.

Le désherbage chimique

Le désherbage chimique a fait l'objet, depuis ces dernières années, d'un programme de recherches assez étoffé, vu l'importance du facteur limitant constitué par l'enherbement. Des essais sont menés à Tuléar, non seulement dans le but de résoudre les problèmes propres aux conditions du Bas-Fiherenana, mais également dans un but d'études plus générales sur les produits, les doses et la rémanence, et susceptibles d'application dans l'ensemble des zones cotonnières.

Une sélection des produits de pré-émergence et une classification en trois groupes ont été faites :

- produits donnant satisfaction dans certaines conditions : trifluraline, prométryne, fluométuron ;
- produits encore à l'étude, ou qui ne sont pas encore distingués des premiers par un meilleur effet vis-à-vis de telle ou telle adventice : fluorodifène, igrane, alachlore, amétryne, nitratine, 17623... ;
- produits rejetés après observation de leur effet insuffisant : néburon, noréa, benzomarc, chlorthal-diméthyl.

On a également entrepris l'étude d'herbicides de post-émergence, dont les premiers résultats positifs sont en faveur du M.S.M.A. et du D.S.M.A.

Dans les conditions de sol et de culture de la plaine de Tuléar (semis sur billons, démarrage par irrigation ou par pluie), la prométryne appliquée sur le sol humide après semis donne de bons résultats à 1 ou 1,5 kg/ha de matière active, mais son effet est assez fugace, parce qu'elle est très facilement lessivée en cas de pluie excédentaire survenant après l'application, comme cela se produit très souvent.

L'hypothèse avancée par le fournisseur, suivant laquelle l'adjonction d'amétryne à la prométryne renforcerait son action sur Graminées, a été infirmée par plusieurs essais à Tuléar et ailleurs.

Les herbicides à incorporer au sol avant semis, tels que trifluraline et nitratine, même s'ils donnent de très bons résultats dans d'autres conditions, ne conviennent pas à Tuléar, l'irrigation ou très souvent l'importance des pluies de germination entraînant ce produit en profondeur.

Le fluométuron a donné, comme la prométryne, une bonne protection immédiate, avec une rémanence nettement meilleure, ainsi que le font apparaître les résultats moyens de deux essais de 1968-1969 :

Traitement (kg/ha m.a.)	à 30 jours		à 50 jours		Cumul sarclage (h/ha)	Rendement (kg/ha)
	herbes sur 189 m²	sarclage (h/ha)	herbes sur 189 m²	sarclage (h/ha)		
Témoin	12 894	182,5	3 706	63,45	245,95	3 678
Prométryne : 1,000	1 632	39,7	1 501	52,2	111,9	4 023
Fluométuron : 2,320	1 109	61,75	369	38,5	100,25	4 106
Différence par rapport au témoin : prométryne					134,05	+ 345
fluométuron					145,7	+ 428

Le fluométuron a donc pu être recommandé en remplacement de la prométryne.

Les essais entrepris depuis 1971 n'ont pas permis de mettre en évidence un produit supérieur au fluométuron.

Il convient de noter que des études de dégradation dans le sol ont été faites pour chacun des produits passés à la vulgarisation. La prométryne et l'amétryne se dégradent très rapidement. Par contre, le fluométuron se dégrade plus lentement : de fortes quantités se retrouvent dans le sol entre 15 et 45 cm de profondeur, après un an. Toutefois, nous n'avons pas observé d'effet phytotoxique pour le cotonnier, l'année suivante. En culture pluviale, les risques d'accumulation seraient plus importants.

L'économie de l'eau

L'étude de l'irrigation a été confiée à la station de Tanandava. La station de Tuléar n'a procédé qu'à des adaptations à ses problèmes.

On a pu mettre en évidence les points suivants :

- Une irrigation complémentaire est nécessaire un mois après l'irrigation de germination, le volume devant être d'autant plus réduit que l'on se rapproche de la date probable des premières pluies.
- La réduction du volume d'eau est possible en irriguant une raie sur deux.
- L'irrigation en longues lignes suppose l'emploi de siphons calibrés.
- Par contre, un programme de détermination des besoins en eau des plantes a été mis en place en 1975.

LES SABLES DUNAIRES DE TULÉAR

Les études ont été réalisées en vue d'une éventuelle mise en valeur de ces sols anciennement occupés par le sisal, dont la masse de racines correspond à 59 t/ha de matière sèche. Ce chevelu racinaire est au départ un inconvénient puisqu'il mobilise, au détriment de la culture, de grosses quantités d'azote et le brûlis partiel se révèle très positif les trois premières années : + 550, + 803, + 626 kg/ha de coton-graine. Mais, d'un autre côté, il constitue la principale richesse de ces sols extrêmement sableux. De toute façon, sa disparition est inéluctable à court terme, ainsi que le montre l'évolution des rende-

ments qui, en 5 ans, passent de 1,9 t/ha de coton-graine (ou de 2,4 t sur brûlis) à 0,6 t/ha.

La fumure n'a eu un effet positif qu'aux premiers stades de cette dégradation.

Les études, dont le financement a été arrêté en 1967, s'orientaient alors vers la recherche d'un alluvionnement massif et accéléré par la technique des petits bassins et, dans l'attente d'un alluvionnement suffisant, vers une compensation de la disparition de la matière organique par rotation avec une légumineuse enfouie.

LE DELTA DU BAS-MANGOKY

Deux grands types de sols sont consacrés à la culture cotonnière : les sables roux, définis comme étant d'anciennes alluvions argilo-sableuses à sablo-argileuses, ayant évolué sur place, avec recouvrement alluvial récent de l'ordre de 10 à 30 cm ; les alluvions récentes, gamme de sols très étendue, définie comme étant un recouvrement sablo-limoneux à limono-sableux fin sur sables. Ces sols sont différenciés en neuf classes basées sur la texture et la perméabilité.

Les premiers aménagements ont porté sur les sables roux qui se sont révélés très délicats à cultiver avec des problèmes de fertilisation difficiles à résoudre. Il se trouve donc que les études sont plus nombreuses sur ce type de sol.

Le maintien de la fertilité

L'évolution des rendements

L'étude de l'évolution des rendements en fonction du nombre d'années de culture de cotonniers précédant l'année d'observation met en évidence une baisse de fertilité importante et souvent rapide. A titre d'exemple, une étude de synthèse, en 1973, sur 101 résultats sans aucune fertilisation sur sables roux, a montré que les rendements suivaient la loi :

$$Y = 3\,042 \times e^{-0,115 X} \quad \text{avec } r = 0,748^{***}$$

où

Y = le rendement

X = le nombre d'années de culture

(illustré par la figure 1).

Sur les alluvions récentes, légères (F_2 et F_3), les baisses de fertilité sont moins rapides, mais non moins importantes. Par contre, les alluvions lourdes (F_4) semblent conserver un bon potentiel de fertilité après 3 ans de culture.

Les déficiences minérales

Sur sables roux, un essai réalisé en 1969, en troisième année de culture après deux ans de *Dolichos lablab*, a donné les résultats suivants :

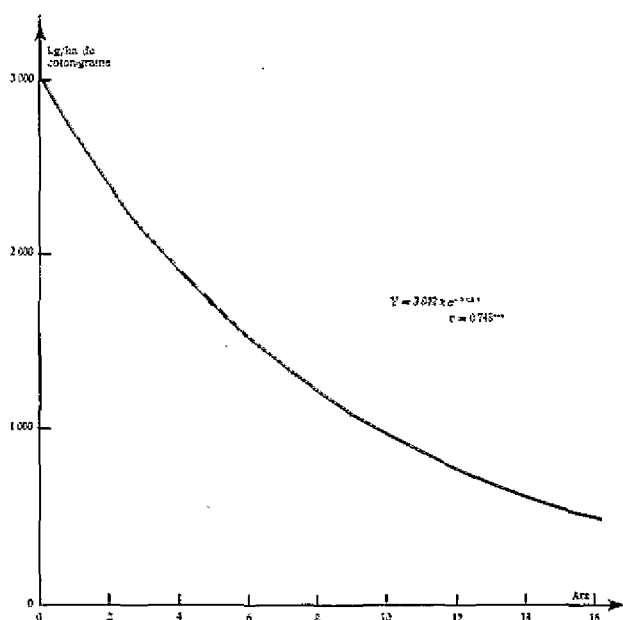


Fig. 1. — Evolution des rendements en coton-graine en fonction du temps de culture. Bas-Mangoky, sables roux, sans engrais (110 résultats).

Témoin	2 200 kg/ha =	61
NSPKCaMg	3 615 » =	100
NSPK (— CaMg)	3 505 » =	97
NSPCaMg (— K)	3 470 » =	96
NSKCaMg (— P)	3 685 » =	102
NPKCaMg (— S)	3 555 » =	98
SPKCaMg (— N)	1 975 » =	55
.... CaMg seul	2 275 » =	63

La déficience azotée se révèle très importante et est la seule à se manifester. Ce résultat est confirmé la même année par un deuxième essai réalisé en deuxième année de culture, après un an de *Dolichos lablab*, par des essais effectués en 1973 et par les résultats d'analyses foliaires.

Sur les sols d'alluvions récentes légères, on obtient sensiblement les mêmes résultats. Un essai sous-tractif réalisé en 1969 sur sol F₁ ne met en évidence qu'un besoin très net en azote. Des résultats d'analyses foliaires obtenus en 1972 sur sol F₁ et F₂ indiquent des nutriments soufrés et phosphatés luxueux et une nutrition potassique correcte.

Sur les sols d'alluvions lourdes (sols F₃), on n'observe également aucune déficience après quatre ans de culture, autre que la déficience azotée, observation confirmée par les résultats d'analyses foliaires. La nutrition potassique serait seulement à surveiller.

On peut donc admettre que, sur le périmètre, la nutrition azotée soit le seul problème de fertilisation à étudier sur les sables roux et sur les sols d'alluvions récentes. Toutefois, comme les conditions de nutrition potassique ne sont pas excessives, il est conseillé d'apporter une fumure de restitution de 45 kg/ha de K₂O.

La fertilisation azotée

Cas des sables roux

Le résultat cité plus haut met en évidence l'importance quantitative de la fertilisation azotée. Une autre image en est donnée par le fait que cette technique limite l'évolution négative de la fertilité. A partir de l'étude réalisée en 1973 sur ce sujet, cette évolution peut être estimée ainsi, à titre d'exemple :

	Sans azote	Avec azote
1 ^{re} année de culture ..	3 042 kg/ha	3 046 kg/ha
Après 5 ans de culture continue	1 742 "	2 469 "
Après 10 ans de culture continue	998 "	2 002 "

Un essai « rotation » a donné les résultats figurant au tableau ci-dessous :

Objet 1			Objet 4		
kg/ha 1969	s/objet 1970	kg/ha 1970	kg/ha 1969	s/objet 1970	kg/ha 1970
3 040	Fumure NS	2 662	3 564	Fumure NS	2 949
1 491	NS + dérobée	2 628	2 560	NS + dérobée	3 227
2 280	Dérobée	1 643	3 255	Dérobée	2 323
703	Témoin 0	919	2 575	Témoin 0	1 960

On constate une interaction positive entre l'effet d'un *Dolichos lablab* en culture dérobée et un apport d'une fumure NS sur l'évolution de la fertilité.

Il semble que la forme d'apport de la fumure azotée ait une importance, comme le montrent ces résultats :

Situations	Témoin	Urée	Sulfate d'ammoniaque
1 ^{re} année coton sur 3 ans <i>Dolichos</i>	2 900	3 251	3 353
2 ^e année coton sur 2 ans <i>Dolichos</i>	1 697	1 840	2 869
3 ^e année coton sur 1 an <i>Dolichos</i>	935	1 294	2 105

Il est difficile d'admettre que le soufre joue un rôle, compte tenu du niveau des teneurs des feuilles en cet élément (voisines de 1%). En 1974, l'hydrolyse de l'urée a été étudiée et on a montré que la minéralisation de l'azote se fait normalement, quelle que soit la forme employée ; les taux d'azote minéral sont très convenables et conformes aux normes admises, les entraînements en profondeur semblent peu importants, les températures dans les sols sont favorables à un bon développement de la vie microbienne ; seules les conditions d'humidité semblent mauvaises.

Il semble donc que l'étude de la nutrition azotée soit à poursuivre en fonction des conditions d'alimentation hydrique.

Cas des alluvions récentes

Sur ce type de sols, la réponse à la fertilisation azotée est plus constante, bien que variable d'une année sur l'autre. Toutefois, elle est faible à nulle après défrichement ou après une culture de *Dolichos lablab* en engrais vert. Ainsi, l'augmentation de production de coton-graine varie de 240 kg/ha à

1 051 kg/ha, avec une fumure de 200 kg/ha d'urée, sur les sols de types F₂ et F₃.

Sur les sols de type F₂, l'accroissement de production est important, comme le montre cette série de résultats :

	Fumure NPKS	Fumure PKS (-N)	Diffé- rence
1972 (145 kg/ha de N).	4 421	2 882	1 539
1973 (115 kg/ha de N).	4 694	3 450	1 244
1974 (80 kg/ha de N).	3 249	2 170*	1 079

* Témoin sans engrais.

En conclusion, nous recommandons pour le périmètre, compte tenu des impératifs de la grande culture, un épandage uniforme de 45 kg/ha d'azote immédiatement avant le billonnage, un deuxième épandage de 45 kg/ha d'azote, selon l'état de la culture au début de floraison (50 à 60^e jour de végétation).

Les oligo-éléments

Une étude importante a été conduite sur les oligo-éléments, de 1968 à 1970 sur sables roux, en présence d'une fumure de base NPKSMg, pour apporter une explication aux différences de végétation et aux déformations capsulaires (loges plates) observées à partir de 1965.

Dans une première phase, les éléments étudiés ont été : Cu, Fe, Zn, Mn et Bo, en pulvérisations foliaires

dans 300 l/ha d'eau à 50, 80 et 100 jours après le semis. Contrôle parasitaire et alimentation hydrique ont été réalisés dans des conditions aussi optimales que possible.

Il est apparu des interactions entre fumure de base et oligo-éléments, encore difficiles à préciser. Ces oligo-éléments ont une action diverse, selon les étapes de la vie du cotonnier.

Cu, Mn et Nutramin agissent positivement sur la croissance. Il en résulte un nombre de points fructifères plus important. En outre Cu, en limitant la chute des boutons floraux, permet l'apparition d'un plus grand nombre de fleurs.

On sait qu'il existe une relation entre l'intensité de la floraison et le pourcentage de chute des capsules. Zn, Fe et S semblent avoir une action limitante sur ce phénomène en intervenant au niveau de la fécondation.

Les différences de rendement sont dues uniquement au nombre de capsules produites et non au poids moyen capsulaire. Zn et Bo accentuent la précocité de la récolte.

Le bore permet une diminution de la croissance générale du plant et limite donc l'exubérance éventuelle.

Le manganèse semble augmenter le pourcentage de fibre.

Un aperçu de ces résultats est illustré par le tableau suivant :

Fumure	Hauteur du plant (cm)	Nombre de sympodes	Nombre de nœuds par sympode	Nombre de fleurs par plant	Nombre de capsules par plant	Production coton-graine (kg/ha)
NSPKMg	154	19,4	18,4	30,2	11,8	3 566
+ Nu	164 *	20,6 *	20,5 *	34,6	13,4 *	3 842
+ Bo	149	18,5 *	17,9	23,4	10,9	3 264 *
+ Zn	158	19,9	19,4	32,5	13,6 *	3 870 *
+ Fe	157	19,8	19,4	32,1	13,5 *	3 840
+ Mn	161 *	20,2 *	19,5 *	33,6	13,4 *	3 820
+ Cu	167 *	20,7 *	21,1	37,6 *	13,7 *	3 980 *
+ S	158	19,7	19,3	31,3	13,5 *	3 950 *
NSPK	152	19,0	18,4	30,0	11,8	3 565
Témoin	138 *	17,3 *	16,8 *	23,1 *	9,0 *	3 184 *

(*) Statistiquement différent du résultat donné par NSPKMg.

Les apports au sol ou par trempage des graines aux concentrations de 0,025 % et 0,050 % conduisent à des résultats voisins.

Dans une deuxième phase, les doses optimales ont pu être proposées :

Cu	3	kg/ha	Mn	2,1	kg/ha
Zn	1,44	"	S	1,425	"

Rôle de la rotation

La fertilisation minérale, principalement azotée, se révèle incapable à elle seule de maintenir la fertilité. Des apports de matière organique, sous forme de fumier, permettent de limiter les chutes de rendement, mais sans donner de résultats très spectaculaires. Différentes techniques de travail du sol et de la jachère n'ont donné aucun résultat intéressant. Enfin, entre 1960 et 1967, on a pu mettre en

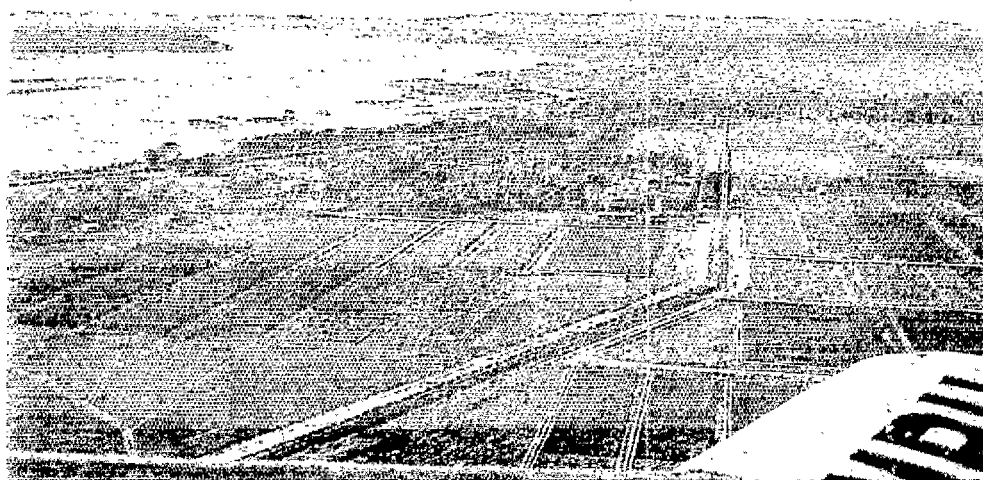


Fig. 2. — Station I.R.C.T. du Mangoky.

évidence une instabilité structurale très grande des sables roux, impliquant des entraînements d'éléments fins et des colmatages.

Ce faisceau de résultats ou d'observations a conduit à l'utilisation d'une plante améliorante répondant aux impératifs suivants : végétation abondante et peu ligneuse, possibilité de culture sur billon, installation et recouvrement rapides, possibilité de culture pluriannuelle (semi-annuelle ou plante pérenne), absence de parasitisme et surtout des parasites du cotonnier, possibilité d'exploitation pour le bétail.

Onze graminées et 25 légumineuses ont été introduites. Les tests de comportement ont montré que la

variété locale d'antaka (*Dolichos lablab*) présente toutes les qualités nécessaires. Elle a donc été généralisée dans les essais de rotation.

La culture et l'enfouissement de cette légumineuse permettent de retrouver des rendements acceptables, voisins de 3 t/ha, du même ordre de grandeur que ceux obtenus en première année de culture.

Une série d'essais d'intensité d'exploitation a été conduite pour comparer différents rythmes d'exploitation du sol combinant différentes successions de culture continue de cotonnier (2 à 4 ans) et de culture d'antaka (1 à 3 ans). Les résultats figurent dans le tableau suivant :

Objet	Production de coton-graine (kg/ha)					
	1963	1964	1965	1966	1967	1968
1. Cotonnier 2/3 (1 an antaka)						
(a) sans fumure	2 800	2 733	Antaka	— (1)	2 942	Antaka
(b) avec fumure NPK	2 800	2 733	Antaka	— (1)	3 067	Antaka
2. Cotonnier 3/4 (1 an antaka)						
(a) sans fumure	2 800	2 733	2 090	Antaka	3 332	2 018
(b) avec fumure NPK	2 800	2 733	2 360	Antaka	3 445	2 575
3. Cotonnier en continu + NPK	2 800	2 733	2 462	— (1)	2 732	2 246
d.s. à P = 0,05					287	370
P = 0,05					392	—

(1) Récolte détruite par *Earias*.

Ils conduisent au rythme d'une année d'antaka pour trois années de cotonniers.

L'action de *Dolichos lablab* se manifeste par un redressement spectaculaire des rendements du cotonnier, mais aussi par une meilleure efficacité des fumures minérales. Cette légumineuse agirait par son système racinaire, en permettant une meilleure exploitation du sol par le cotonnier qui lui succède. Lorsque la dégradation du sol est très accusée, il faut associer à l'effet racinaire la matière organique aérienne et notamment le mulch des débris végétaux déposés sur le sol par cette culture. La mobilisation d'éléments fertilisants situés en profondeur et remis à la disposition du cotonnier dans les horizons supérieurs, peut être une explication de cet effet positif. On constate en effet que l'enracinement de *Dolichos lablab* est toujours profond, même lorsqu'il y a présence d'un horizon induré vers 25-30 cm.

Cette action n'aura son plein effet que dans la mesure où la culture de *Dolichos lablab* sera bien conduite et qu'elle sera associée à une fumure minérale sur cotonnier. La rentabilité de l'opération peut être améliorée en utilisant cette culture pour l'alimentation du bétail.

Sur les alluvions récentes légères, pour les mêmes raisons que sur sable roux, il semble que l'on puisse utiliser le même système de culture, à savoir trois années de cotonnier pour une année de *Dolichos lablab*. Par contre, sur les alluvions lourdes (type F₁), la culture continue du cotonnier semble possible, mais nous n'avons pas encore assez de recul pour être affirmatif.

Entre 1968 et 1971, dans le souci de ne pas limiter l'intensité de la rotation, l'introduction d'une culture dérobée de *Dolichos lablab*, entre août et novembre, a été étudiée. Les résultats sont encourageants, mais la mise en place de la culture dérobée est assez délicate. Elle devrait se faire, en grande culture, sous les cotonniers, après la première récolte et bénéficier ensuite du cycle d'irrigation de la fin de culture (septembre).

Sur un plan plus général, le suivi régulier de l'évolution de la production de chaque parcelle peut se révéler le meilleur guide pour l'introduction raisonnée d'une sole de *Dolichos lablab*, pour maintenir son potentiel de fertilité en adaptant le système 3 ans coton - 1 an *Dolichos lablab* à chaque cas particulier.

Les techniques culturales

Le travail du sol

L'expérience prouve l'importance de la préparation du sol avant le semis. Un labour moyen (20-25 cm) donne les meilleurs résultats lorsqu'il est suivi d'un passage de pulvérisateur; le billonnage peut alors se faire facilement. On aura toujours intérêt à réaliser ces opérations sur sol légèrement humide, bien ressuyé.

Le premier sarclage, malgré l'utilisation généralisée de l'herbicide, doit être fait impérativement vers le 20^e jour de végétation du cotonnier. Passé cette date, qui est aussi celle du démarrage, on risque

des chutes de rendements. Pour faciliter les irrigations, butter les plants et réduire les besoins en main-d'œuvre, on devra procéder à des rebillonnages, tant que la taille des cotonniers le permet. Les attelages de bœufs semblent bien adaptés à ces travaux.

Les dates de semis

Tous les essais concordent pour donner le mois de décembre comme date optimale. On gagne 500 kg/ha (pour une productivité moyenne de 3 500 kg/ha) par rapport à un semis de fin janvier.

D'autres essais de 1972 et 1973 confirment ces résultats et montrent aussi que des semis de novembre, très difficiles à mettre en place, n'apportent que très peu d'augmentation de rendement. De plus, les premières capsules mûres risquent d'être mouillées par les pluies tardives.

Les densités

La densité de 60 000 plants à l'hectare est apparemment la meilleure (en 1963, gain de 10 % par rapport à la densité de 85 000 plants/ha). Des densités comprises entre 35 000 et 60 000 plants/ha ont été testées et n'ont pas montré de différences significatives. Il convient donc, pour le paysan, d'éviter les trop forts peuplements.

Le désherbage chimique

Des essais herbicides ont été réalisés sur la station, chaque année, de 1963 à 1972.

Caractéristiques de l'enherbement

Dès 1963, on note une nette prédominance du pourpier sur les autres adventices. À partir de 1970, l'expérimentateur remarque que le pourpier a tendance à être remplacé par des Graminées. Mais, en 1971, l'interprétation des comptages d'herbes ne confirme pas les observations de 1970, dues sans doute à des conditions particulières.

En 1972 et 1973, l'enherbement sur parcelles témoins sans herbicide s'établissait comme indiqué au tableau p. 282.

On remarque que l'enherbement peut être assez différent d'une année à l'autre. Alors qu'en 1972, le pourpier ne représentait que 48 % des herbes comptées, en 1973, il passe à 80 %. De plus, en 1972, il semble céder la place aux Graminées à partir de 45 jours (46 % des herbes). En 1973, il se maintient et représente toujours 80 % du total à cette même époque.

À première vue, l'utilisation des herbicides ne semble pas modifier les répartitions des différentes familles. Depuis 1963, le pourpier est la principale adventice.

Les produits

Il convenait donc de rechercher un produit efficace sur pourpier et Graminées. Ce produit devait être facilement épandu par avion et posséder une

Enherbement	1972		1973	
	à 20 jours avant 1 ^{er} sarclage	à 45 jours avant 2 ^e sarclage	à 20 jours avant 1 ^{er} sarclage	à 45 jours avant 2 ^e sarclage
Pourpiers	48 %	26 %	80 %	80 %
Graminées	32	46	12	17
Liserons	18	—	7	1
<i>Boeravia diffusa</i>	—	13	—	—
Autres espèces	2	2	1	2
	100 %	100 %	100 %	100 %

bonne rémanence, pour répondre aux impératifs techniques du périmètre. L'épandage par avion

écartait tous les produits de post-émergence.

Fin 1972, les produits suivants avaient été testés :

Produits (matière active)	Doses m.a. (kg/ha)	Phytotoxicité	Efficacité sur adventices
Diuron	0,8 à 3,0	moyenne à forte	peu efficace sur pourpier
Monuron	0,9 à 3,0	moyenne à forte	peu efficace
Simazine	2 à 3,0	forte	très efficace
Trifluraline	0,9 à 1,3	néant	peu efficace
Nitraline	0,8 à 1,1	néant	peu efficace
Fluométuron	2,4 à 3,0	faible	efficace
Oxadiazon	1,4	néant	aucune efficacité
Prométryne	0,8 à 3,0	moyenne	efficace
Amétryne	1,3 à 2,8	moyenne	efficace
Mélange :			
Amétryne	0,7	moyenne	efficace
-- Prométryne	0,6		

Ce tableau schématise les résultats afin de les rendre plus accessibles. Compte tenu des conditions de sol, on peut dire que, dans l'état actuel de nos connaissances, le fluométuron est le produit le plus intéressant. Moins phytotoxique que le mélange amétryne + prométryne ou que le diuron, il est tout aussi efficace.

Conclusion

Le désherbage chimique apporte un gain de temps au sarclage de 50 à 70 % par rapport à un terrain sarclé mécaniquement (cas du fluométuron). Mais cet herbicide ne fait que retarder la croissance des adventices sans jamais les supprimer.

Sous protection herbicide, l'expérience prouve qu'un sarclage au moment du démarrage (20-25^e jour) permet un très bon contrôle des mauvaises herbes. S'il est suivi d'une autre intervention 20 jours plus tard, il y a de grandes chances pour que les cotonniers couvrent alors le sol et qu'aucun autre sarclage ne soit nécessaire. Rappelons qu'avant l'utilisation systématique des herbicides, il fallait réaliser au moins 4 à 6 sarclages de la culture.

Enfin, en limitant l'importance de la compétition avec les adventices, en début de végétation, l'herbicide permet un gain de productivité de l'ordre de 200 à 400 kg/ha.

L'économie de l'eau

Les besoins en eau du cotonnier

De nombreux auteurs ont étudié la consommation en eau du cotonnier. Sur le périmètre, ces travaux ont été également réalisés. Ils font ressortir une grande cohérence des résultats avec ceux trouvés dans beaucoup d'autres pays : Afrique du Nord, U.R.S.S., Grèce, Israël, etc.

On peut évaluer ces consommations de la manière suivante :

- semis/début de floraison : 3 à 4 mm/jour ;
- floraison : 6 à 7 mm/jour ;
- formation des capsules : 5 à 6 mm/jour.

En période de pointe, on arrive donc à une consommation totale mensuelle de l'ordre de 2 000 m³/ha, ce qui correspond à un débit fictif continu de 0,8 l/s/ha.

La conduite des irrigations

La détermination des paramètres de l'irrigation a été réalisée à partir de la méthode BLANEY et CRIDDLE, modifiée et adaptée aux besoins du périmètre (pente moyenne 2 à 3 ‰).

Le principe est le suivant : on détermine un débit d'attaque, non érosif, qui a pour but de mouiller le terrain sur toute la longueur de la raie. Ensuite, on essaie différents débits d'entretien qui devront percoler. Le débit retenu devra apporter la dose d'irrigation requise de façon uniforme.

Cette irrigation par ruissellement se fait par siphons, tuyaux à vannettes ou tout autre moyen permettant de régler les débits.

Sur sols ferrugineux tropicaux

Les essais ont donné les résultats suivants :

- longueur admissible des billons : 60 mètres. Au-delà, il est impossible de réaliser une irrigation bien répartie (pertes par percolation trop importantes) ;
- débit d'attaque : 1 l/s ;
- débit d'entretien : 0,6 l/s ;
- capacité de rétention au champ (CR) : 12 % d'humidité pondérale ;
- densité apparente (d) : 1,6 % ;
- réserve facilement utilisable (RFU) : 70 % du CR, soit 300 m³/ha sur 1,5 m ;
- dose à apporter : 500 m³/ha.

La capacité de rétention au champ est très faible et la réserve facilement utilisable de ces sols très peu importante. On remarque donc que la dose préconisée lui est supérieure, ce qui implique des pertes par percolation profonde de l'ordre de 200 m³/ha à chaque irrigation.

De plus, l'expérience prouve qu'après une première irrigation, la deuxième est beaucoup plus difficile à réaliser. Les éléments fins sont entraînés au fond de la raie et on assiste à un compactage de la raie qui produit une baisse importante de la perméabilité. On aura alors des pertes au drain qui seront non négligeables.

Il est donc recommandé de procéder à un sarclage avant chaque irrigation, quand cela est possible. Lorsque la végétation interdit tout travail, il faut diminuer le débit d'entretien pour l'adapter à la nouvelle perméabilité ainsi créée.

En résumé, on peut dire que ces sols, très perméables mais aussi très instables, sont très difficiles à arroser. Les conditions du périmètre sont telles qu'il est très dangereux de tolérer des pertes en profondeur ou au drain, comme nous le verrons par la suite.

Sur sols de types F2 et F3

Ces sols, caractérisés par leur épaisseur de recouvrement alluvionnaire sur couche drain très sableuse, sont eux aussi très difficiles à irriguer.

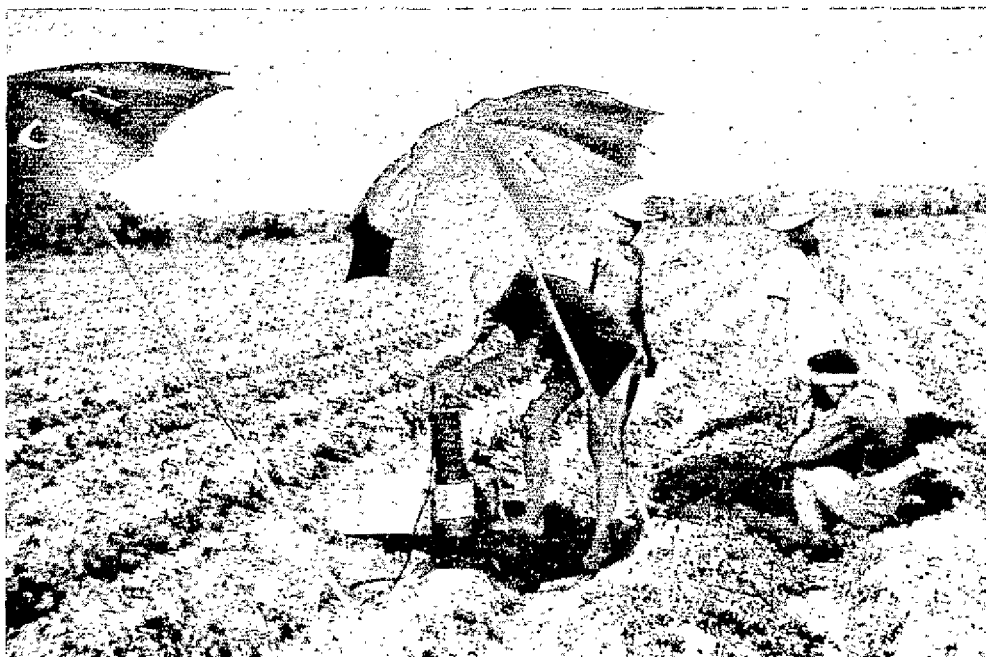


Fig. 3. — Contrôle de l'irrigation à l'aide de la sonde à neutrons.

Pour l'établissement des paramètres de l'irrigation, on s'est heurté à l'hétérogénéité du terrain. Le recouvrement est d'inégale épaisseur, et il arrive aussi souvent que le planage ait découvert des plages de sable.

Quoi qu'il en soit, l'expérience prouve que les longueurs de raies ne doivent pas excéder 100 à 150 mètres, selon la perméabilité. En débit d'attaque, on apportera 1 l/s et en entretien 0,4 l/s environ.

Le colmatage de l'horizon de surface risque aussi de se produire sur ce type de sol riche en éléments fins.

Sur sols de type F3

Ces sols sont des alluvions récentes limono-argileuses à argilo-sableuses fines (environ 60 % argile + limon). En profondeur, vers 80 cm à 1 m, on trouve des horizons plus légers et donc plus perméables.

Ces sols ont une perméabilité relativement faible, mais une très bonne tenue à l'irrigation. Nous n'avons pas constaté de colmatage de surface.

Les paramètres d'irrigation sont les suivants :

- débit d'attaque non érosif :
2 l/s (pente 3 à 4 ‰) ;
- débit d'entretien :
0,6 l/s pour 100 m,
0,7 l/s pour 160 m,
0,8 l/s pour 200 m ;
- réserve facilement utilisable : 850 m³/ha pour 0, 80 m ;
- capacité de rétention : 29 à 26 % (humidité pondérale) ;
- densité apparente : 1,3 à 1,5.

La capacité de rétention permet une RFU très importante. Des irrigations de 850 à 1 000 m³/ha peuvent être envisagées sur ce type de sol.

La bonne structure supporte bien l'irrigation. Ces terres sont sans doute les mieux adaptées à l'irrigation à la raie.

Conclusions - Recommandations

Comme nous venons de le voir, les irrigations sont en pratique très difficiles à réaliser sur la majeure partie du périmètre. De plus, la nappe phréatique, souvent salée et très proche du sol, interdit toute erreur de dose.

Nous devons recommander les précautions indispensables suivantes : aucune irrigation pendant la saison des pluies (décembre à fin février) ; établissement d'un tour d'eau très strict pendant la saison sèche. Ce tour d'eau doit être réel et tenir compte de chaque agriculteur, afin d'éviter des inondations apportant des doses de l'ordre de 10 000 à 20 000 m³/ha, comme cela s'est déjà produit. Préférer, dans tous les cas, ne pas irriguer plutôt que de créer le risque

d'une remontée de nappe, toujours très dangereux. Adapter autant que possible les longueurs de raies aux résultats de l'expérimentation.

La salinité sur le périmètre du Bas-Mangoky

L'étude de la salinité sur le périmètre a commencé en 1969, par un travail de surveillance de l'évolution de la salure dans les drains et les nappes phréatiques du périmètre.

Des mesures systématiques, effectuées pendant quatre années dans le canal principal d'irrigation, ont permis de montrer que la composition de l'eau variait peu autour des valeurs moyennes suivantes :

Conductivité : 100 à 250 micromohs/cm.
pH : 7,6 à 8,2,
Na : 0,4-0,7 mEq/l, soit 9,2 à 16,1 kg/1 000 m³,
K : 0,5 mEq/l, soit 1,9 kg/1 000 m³,
Ca : 0,8 mEq/l, soit 32 kg/1 000 m³,
Cl : 0,4 mEq/l,
Mg : 0,4 mEq/l, soit 9,6 kg/1 000 m³.

Ces données permettent d'affirmer que l'eau d'irrigation ne peut être mise en cause dans l'apparition de l'évolution d'un problème de salinité.

Des salures existaient déjà avant la mise en eau du périmètre sur de petites zones délimitées sur la carte pédologique. Ces zones ont été généralement mises en rizières avec l'espoir, compte tenu des quantités d'eau apportées, de lessiver ces sols. En fait, il n'en a rien été et on assiste, au contraire, à une accentuation du phénomène.

Outre ces situations de salinité préexistantes, on observe également que des parcelles, saines en 1966, présentent maintenant des caractères salins très nets.

L'hypothèse avancée pour expliquer l'évolution générale de cette situation est la suivante : le périmètre repose sur des formations du tertiaire marin dont les sels sont dissous à grande profondeur. Ces sels remontent et viennent charger les nappes phréatiques perchées, phénomène difficilement évitable dans l'état actuel des choses. Cette hypothèse repose sur le fait que les principaux collateurs, souvent au contact des nappes phréatiques, évacuent une eau chargée ou très chargée en sel (conductivité de 700 à 3 000 micromohs/cm pendant les périodes d'irrigation), les mesures étant relativement stables depuis 1969.

La situation semble s'aggraver depuis 1972, avec l'introduction du double cycle de culture rizicole sur l'ensemble du périmètre, qui a entraîné une remontée des nappes qui battent maintenant entre — 1 m et — 2 m.

Une expérimentation et une série d'observations diverses ont été menées sur une parcelle de 12 ha, située en bordure de rizière et présentant trois degrés de salure : une zone très peu saline mais avec une nappe très chargée (5 000 à 6 000 micromohs/cm), une zone saline où la nappe était chargée (2 000 à 3 000 micromohs/cm), une zone très salée et alcaline où la nappe était un peu moins chargée (1 500 à 2 000 micromohs/cm).

De l'ensemble de données dégagées à cette occasion, on peut retenir que sur les sols alcalins, les cultures cotonnières et rizicoles sont impossibles; les productivités sont en liaison directe avec la salure de l'horizon 0-40 cm (r variant de 0,6 à 0,75) avec une limite inférieure de 500 micromohs/cm au-dessous de laquelle les rendements ne sont plus affectés; la réponse à la fertilisation azotée est bonne, les autres éléments fertilisants étant sans effet; la perméabilité, quasi nulle lorsqu'on est au voisinage de la capacité de rétention, rend impossibles les irrigations par ruissellement; le niveau de la nappe phréatique est essentiellement en relation avec la présence de la rizière voisine. Irrigation ou drainage sont pratiquement sans effet.

En résumé, on peut dire que toutes les nappes sont salées, qu'elles se situent à des niveaux dangereux pour les sols et qu'elles ont tendance à remonter depuis l'introduction du double cycle de culture rizicole.

Pour éviter tout phénomène de salure, il faudrait que la nappe soit au minimum à 350 cm du niveau du sol, ce qui entraîne la nécessité de recalculer tout le réseau de drainage. Pour disposer de tous les éléments justificatifs d'un tel investissement, un secteur expérimental doté de tous les moyens de contrôle nécessaires devrait être mis en place.

La diversification des cultures

Depuis la création du périmètre, de nombreuses cultures autres que le cotonnier ont été essayées, soit pour rentrer dans une rotation avec le riz et le cotonnier, soit pour remplacer éventuellement le cotonnier.

Entre 1965 et 1967, les cultures suivantes ont été introduites sans succès: tournesol (5 variétés), blé (tendre et dur), sorgho (2 variétés), carthame (3 variétés), crambe (3 variétés).

Une plantation expérimentale de citrus, mise en place en 1968, s'est également soldée par un échec.

Comme déjà signalé plus haut, *Dolichos lablab* (antaka) est une bonne plante fourragère. Sa production à l'hectare peut être estimée ainsi:

Unités fourragères	2 250 UF par pâture
Matières azotées digestibles ..	525 kg/ha
Calcium	55,5 kg/ha
Phosphore	7,5 kg/ha
Matière sèche	3 000 kg/ha
Matière verte	15 000 kg/ha

On peut envisager 4 pâtures par an.

Mais il faudra prendre certaines précautions pour conserver le pâturage en état: la pâture d'une parcelle ne doit durer qu'une journée. Il faut donc prévoir une forte charge instantanée; dès la pâture terminée, le sol doit être remis dans d'excellentes conditions d'humidité, pour qu'il y ait redépart très rapide de la végétation.

Dans ces conditions, on pourrait avoir une bonne possibilité de développer l'élevage sur le périmètre.

L'introduction de l'arachide a donné des résultats assez fluctuants qui ne sont pas très encourageants: 3,5 t/ha en 1972, avec les variétés Valencia (variété à double fin) et la Bunch (variété de bouche), et 2 t/ha en 1973, avec Valencia. La variété Bunch, mal classée par le service des agrégés, a été écartée. Il semble que l'influence du parasitisme soit très grande et elle demanderait à être étudiée.

A partir de 1972, un programme assez important de recherche d'accompagnement a été mis en place pour la culture rizicole, portant sur les problèmes variétaux et de fumure.

L'azote est le seul élément à marquer. La dose de 45 kg/ha apporte une augmentation de production de 20 à 30 %.

Sur le plan variétal, l'IR 20 a donné de bons résultats, particulièrement au premier cycle, et pourrait, sous réserve de confirmation, remplacer l'IR 8 actuellement cultivée. Une expérimentation plus importante se poursuit.

LA CULTURE PLUVIALE ET LA CULTURE DE DÉCRUE

La production de l'ensemble des zones cotonnières reçoit l'appui de la recherche sous plusieurs formes: contribution aux prospections et études préliminaires; visites périodiques pour effectuer des observations sur le terrain et donner des avis techniques

aux responsables de la production; réalisation d'essais agronomiques dont certains font partie d'un réseau multilocal et d'autres s'appliquent aux problèmes propres à chaque zone de culture.

LA RÉGION D'ITHOSY

Il s'agit là l'une zone de culture située à 800 m d'altitude où le climat se caractérise par une pluviométrie assez faible et un ensoleillement réduit; quant aux sols, mis à part les vertisols de la vallée d'Ithosy, ils sont dans l'ensemble assez médiocres.

Toutes ces données en font une zone marginale pour la culture cotonnière.

Le coton s'est implanté principalement dans la vallée de l'Ithosy et dans la plaine de la Menaraka.

Les premiers essais de comportement, qui remontent à 1962-63, intéressaient également la plaine d'Ambarata.

La vallée de l'Ihosy

Les sols vertiques d'Antanambao constituent une exception et, avec la fumure NP vulgarisée, révèlent un excellent équilibre minéral, confirmé par les rendements obtenus actuellement. Les autres zones présentent un certain nombre de déficiences minérales. Le soufre est insuffisant partout. Le phosphore est nettement déficient à Lambomena, marginal partout ailleurs. Le bore est déficient partout. Par contre, les teneurs en azote et en potassium sont satisfaisantes pour le moment.

Les sols ferrallitiques sont inquiétants par leur acidité (pH compris entre 5 et 6, parfois inférieur à 5).

Un essai soustractif de déficiences minérales a montré une faible action calco-magnésienne et un léger effet dépressif du sulfate d'ammoniaque (acidifiant); d'autre part, un essai pluri-annuel, comparant à même dose de P_2O_5 le triple superphosphate et les scories, a montré un léger relèvement du pH et des rendements de la part des scories; ces observations prises isolément ne sont pas significatives, en raison de la précision insuffisante des essais, mais concordent parfaitement entre elles, incitant à la prudence dans les choix des engrais, à défaut de pouvoir rentabiliser un véritable amendement. Ainsi, le soufre devrait être apporté au sol sous une forme moins acidifiante que le sulfate d'ammoniaque. Nous n'avons pas constaté d'effet positif de la jachère d'antaka sur les rendements (à noter que la densité de l'antaka était insuffisante pour assurer un bon contrôle des adventices).

Enfin, on n'observe pas de chute de rendement sur les parcelles en coton continu depuis 5 ans, avec enfouissement des cotonniers et fumure NSP puis NSPK. Les trois dernières années ont vu les rendements évoluer comme suit :

1970-71, coton en 3^e année : 2 831 kg/ha,
1971-72, coton en 4^e année : 3 016 kg/ha,
1972-73, coton en 5^e année : 3 702 kg/ha.

Il convient de souligner l'effet année sur ces rendements :

	1971-72	1972-73
Coton continu	3 016 kg/ha	3 702 kg/ha
Coton après antaka .	2 143 kg/ha	3 506 kg/ha
Moyenne	2 879 kg/ha	3 604 kg/ha

La plaine de la Menaraka

Sur alluvions plus ou moins évoluées, chimiquement satisfaisantes, les essais de fertilisation minérale menés pendant cinq ans n'ont jamais pu donner de résultats très précis, les rendements ayant été nivelés soit par un très fort parasitisme mal contrôlé, soit par la sécheresse, soit par les inondations. Ils n'ont indiqué qu'une réponse à N et à P. On note un effet positif du précédent antaka (*Dolichos lablab*).

Parmi les herbicides, la trifluraline donne des résultats très satisfaisants. Au contraire, l'association amétryne-prométryne présente une efficacité très aléatoire, compte tenu des conditions d'humidité du sol rarement convenables au moment de l'application.

Une étude, demandée par le Secrétariat d'Etat à l'Agriculture pour les Hauts Plateaux, en fin 1968, portait sur des irrigations de complément sur coton et sur le comportement de cultures dérobées irriguées (cultures destinées à rentabiliser les installations d'aspersion).

— L'effet de l'irrigation de complément après la saison des pluies 1968-69 (sur cotonniers ayant souffert des inondations) est très insuffisant pour être valable (+ 200 kg/ha de coton-graine), même avec complément d'urée (+ 360 kg/ha de coton-graine).

— Le blé, l'avoine et le haricot en intercampagne ont donné de très faibles rendements (dégâts causés par les rats).

— En 1969-70, les irrigations ont été destinées au démarrage du coton sur semis précoces. Leur incidence correspond à une augmentation de rendement de 500 kg/ha de coton-graine, pour des cotonniers encore une fois affectés par les inondations. L'effet date de semis, étudié entre le 15 octobre et le 15 novembre, se traduit par une chute de rendement de l'ordre de 27 kg/ha par jour de retard, toujours en condition d'ennoyage temporaire.

L'expérimentation a été abandonnée en 1970, du fait des accidents répétés sur les essais, des risques encourus par le personnel et le matériel, la plaine étant de plus en plus exposée aux crues et aux décapages, en raison des brèches ouvertes dans les bourrelets de berge.

LA RÉGION D'ANKAZOABO

La culture cotonnière s'est développée principalement dans les cuvettes de sable roux humifères à phase hydromorphe. La fertilité de ces sols est très satisfaisante et les rendements sont élevés dès la première année de mise (ou de remise) en culture.

La nutrition minérale en grande culture se caractérisait fin 1973 comme suit : d'une manière générale, déficience en azote; les teneurs en P_2O_5 étaient tout juste limites dans la plupart des emplacements et

nettement insuffisantes sur Ambolodia et Antandroka. Le niveau de K est satisfaisant en général, mais il mérite d'être surveillé sur Antandroka et Ambolodia.

Les résultats des essais de fertilisation conduits depuis 1958-59 n'ont jamais fait apparaître dans la zone principale de culture d'autres déficiences que celle de l'azote. L'application d'urée a donné, en moyenne sur 9 années, 2,6 kg de coton-graine par



Fig. 4. — *Stokage du coton à Ankazoabo.*

kg d'urée, pour une application de l'ordre de 200 kg/ha d'urée.

L'étude du maintien de la fertilité, abordée en 1967-68, se posait au niveau du producteur de coton sous la forme suivante : nécessité ou non d'une phase régénératrice en culture cotonnière continue et intensive ; possibilité de régénération effective à l'aide de plantes améliorantes ; nature de la plante améliorante ; équilibre entre phase d'exploitation et phase de restitution.

Pour répondre aux trois premières questions, nous avons mis en place l'essai d'assolement comparant les objets suivants, après 3 ans de coton continu :

1. Coton continu (cotonniers enlevés et brûlés).
2. Coton continu (cotonniers broyés et enfouis).
3. 1 an d'antaka (*Dolichos lablab*) + 2 ans de coton.
4. 1 an de sorgho + 2 ans de coton.

La question de la nature de la plante améliorante a été réduite, pour simplifier, à deux espèces utilisables comme fourrage.

Pour ce qui est du problème de la conduite de la culture améliorante, nous avons pensé, *a priori*, que la plus facilement vulgarisable, si l'on envisage de développer la culture attelée, est de laisser fructifier et ensuite pâturer au maximum. Le fait que la plante améliorante soit utilisée comme fourrage de contre-saison (pour l'antaka : feuilles, hauts de tiges et gousses sur pied + feuilles tombées au sol ; pour le sorgho : feuilles sèches et repousses sur place + panicules stockées) peut en justifier la culture

aux yeux du cultivateur, et c'est cette formule que nous avons choisie pour notre essai d'assolement.

Cet essai devait apporter également une réponse provisoire à la quatrième question.

Les résultats peuvent se résumer comme suit : concernant les points 1, 2 et 3 après jachère de *Dolichos lablab*, le rendement en coton à l'hectare passe de 2,456 t à 1,590 t pour le coton continu, ce qui représente un gain de 800 kg/ha de coton-graine. La différence passe à 1,250 t avec un complément de 100 kg/ha d'urée. Par contre, la présence de sorgho dans l'assolement ne présente aucun intérêt.

Outre l'action positive sur le rendement, la jachère d'antaka (*Dolichos lablab*) présente les avantages ci-après : réduction des travaux de désherbage sur la sole cotonnière suivante ; apport dans l'alimentation humaine par la consommation des gousses en vert et des graines en sec ; fourrage vert et sec sur pied pour le bétail, surtout intéressant en fin de saison sèche.

La nature de l'action sur les rendements n'a pas été clairement élucidée. Consiste-t-elle simplement en un apport d'azote par la légumineuse et une réduction de l'enherbement ? Dans ce cas, un engrais azoté et un désherbant chimique pourraient remplacer cette phase de jachère, s'il n'y a aucune forme d'action mécanique de cette dernière sur les sols. Cet aspect mériterait d'être approfondi, car les superficies de sols hydromorphes sont limitées et pourraient poser, d'ici quelques années, des problèmes de disponibilités en terres pour la culture cotonnière.

Une réponse provisoire est proposée pour le point 4 : rotation 1 an d'antaka et 4 années de coton, avec fertilisation minérale.

Concernant l'entretien chimique des cultures, on a d'abord mis en évidence l'intérêt du traitement en post-semis du cotonnier et préémergence des adventices de 1.250 kg/ha de prométryne, appliqué par

avion ou manuellement ; plus récemment, on a obtenu avec 3 kg/ha de fluometuron une réduction de 80 % du nombre d'herbes et une réduction de 65 % du temps de sarclage. La trifluraline et la nitriline ont donné de moins bons résultats, ces produits de pré-semis étant mal adaptés aux conditions locales de culture attelée et de semis sur billons.

RÉGION DU MOYEN-FIHERENANA

La culture cotonnière dans cette zone est pratiquée sur sols rouges méditerranéens non lessivés type modal ou vertique, sur sols ferrugineux tropicaux non lessivés et alluvions vertiques que l'on rencontre sur les plateaux de Bemeneraha et de Vineta.

L'expérimentation a été conduite sur sols rouges méditerranéens de la zone de Bemeneraha, qui offre des conditions limites de sol et de climat pour la culture cotonnière.

Concernant l'alimentation minérale, les essais sous-tractifs montrent :

— En première année de culture, des besoins en azote.

— En seconde année, la déficience en azote est hautement significative et la déficience en P est significative sur les premières récoltes seulement.

— En troisième année, outre la déficience NP, on a observé une déficience en S (année humide).

— En quatrième année, mêmes observations qu'en troisième année, sauf la déficience en S, sensible sur la hauteur, qui n'affectait pas les rendements d'une manière significative (année plus sèche).

— En cinquième année, les résultats se classent comme suit, en % de fumure complète NSPKB :

Objets	Rendement kg/ha	% FC	Classement rendement	
			P = 0,05	P = 0,01
2. Fumure complète ..	1 394	100	A	a
6. FC — K	1 335	95,8	A B	a
5. FC — S	1 236	88,7	A B C	a b
7. FC — B	1 168	83,8	B C	a b
4. FC — P	1 049	75,3	C	b c
3. FC — N	851	61,1	D	c d
1. Témoin	771	55,3	D	d

C.V. = 17,4 %.

Peut-être serait-il prudent de remplacer la fumure NP actuellement vulgarisée par une fumure NSPKB ?

Par ailleurs, un essai d'assolement a été mis en place en 1969, dans la même zone. Il comportait du coton continu en comparaison avec les rotations antaka - coton - coton - coton, antaka - tournesol - coton - coton, coton - maïs - antaka - coton et tournesol - coton - coton.

L'objectif consistait à diversifier les cultures et à faire bénéficier les cultures vivrières de l'arrière-effet fumure coton.

La fumure comportait pour les parcelles fertilisées : 100 kg d'urée + 100 kg de phosphate d'ammoniaque + 100 kg de sulfate de potasse.

Les résultats figurent dans le tableau page 289.

L'effet années est très important et n'autorise pas de comparaisons de traitements d'une année sur l'autre.

L'effet fumure est marquant sur le coton en 1969-70, et en 1971-72 il est également significatif sur le tournesol. L'arrière-effet fumure maïs est significatif.

En 1972-73, l'effet fumure n'est pas significatif, mais l'antaka a un effet positif sur les rendements coton.

En matière d'herbicides, on note sur sols méditerranéens une réduction de 70 à 80 % de la flore adventice et de 50 à 63 % du temps de sarclage, selon les produits. Ces études intéressent davantage les sols à tendance vertique que les sols méditerranéens à faible végétation adventice et à faible potentiel de production.

	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73
1 a	coton	coton	coton	coton
(R)	866	1 521	2 005	912
1 b	coton	coton	coton	coton
(R)	684	1 169	1 691	902
2 a	antaka	coton	coton	coton
(R)		1 349	1 963	964
2 b	antaka	coton	coton	coton
(R)		1 352	1 656	937
3 a	antaka	tournesol	coton	coton
(R)		891	2 262	946
3 b	antaka	tournesol	coton	coton
(R)		798	1 672	963
4 a	coton	maïs	antaka	coton
(R)	763	800		1 438
4 b	coton	maïs	antaka	coton
(R)	713	562		1 386
5 a	tournesol	coton	coton	coton
(R)	1 368	1 673	1 958	994
5 b	tournesol	coton	coton	coton
(R)	1 389	1 223	1 584	981

N.B.: a = avec fumure, b = sans fumure, (R) = Rendement.

ZONE DE LA MANOMBO ET DE L'ANDROKA

Cette zone peut sommairement être subdivisée en un secteur Manombo, comportant des alluvions et sables roux irrigués, et un secteur Androka, comportant une mosaïque de sols dont les groupes susceptibles d'intéresser la culture cotonnière sont les suivants :

- Sols d'apports alluviaux hydromorphes.
- Sols vertiques sur alluvions argileuses de zones de décantation amont et sous réserve d'expérimentation.
- Sols d'apports alluviaux modaux sur sables et limons des défluent.
- Sols vertiques sur alluvions-colluvions recouvrant les sables roux.

- Sols hydromorphes sur alluvions argileuses.
- Sols bruns calcaires hydromorphes.
- Sols à gley sur colluvions de bas de collines.
- Certains sols ferrugineux tropicaux et ferrallitiques.

Quelques essais ont été réalisés en paysannat. Ils ont permis de mettre en évidence le rôle de l'azote sur alluvions vertiques de l'Androka (Ampiamy). Par contre, aucune réponse n'a été obtenue sur sables roux plus ou moins alluvionnés de la Manombo.

Le contrôle insuffisant des adventices et du parasitisme dans tous les cas n'a pas permis d'obtenir des résultats fiables.

La solution réside dans la mise en place d'un réseau d'essai régional parfaitement structuré.

LA ZONE DE MORONDAVA

Des essais de comportement ont été mis en place dès 1960, sur différents sols : alluvions anciennes, alluvions récentes, sables roux de cuvettes et même sols ferrugineux tropicaux de plateau.

Les deux premières catégories ont été retenues pour le coton, mais il s'est avéré que, sur alluvions récentes, il existait des dangers d'inondation et même de décapage définitif du sol. Leur exploitation est

conduite en décrue précoce, pour éliminer les risques d'inondation. Cette technique se rattache davantage à celle de la décrue, que nous verrons plus loin.

Le coton se cultive actuellement dans des conditions très satisfaisantes sur les alluvions anciennes à fertilité assez élevée et à bonnes réserves hydriques, principalement dans la région d'Ankilivalo (où

des essais sont suivis depuis 1962-63) et de Bevantaza, sur la rivière Maharivo.

Ces divers essais ont permis de préciser les principaux facteurs de production cotonnière dans cette région.

La fertilisation minérale

Les résultats d'essais de fumure sont en faveur d'apports d'azote seul en première année de mise (ou de remise) en culture. La dose globale la mieux rentabilisée est de 100 kg/ha d'urée en culture paysannale et de 200 kg/ha en culture mécanisée.

Ces apports demandent à être fractionnés, la première moitié étant apportée avant le semis, la seconde à 30 jours, après sarclage. Le second apport sera supprimé si la culture souffre d'une sécheresse accusée.

A partir de la deuxième année, P₂O₅ devient lui aussi facteur limitant, et le rôle de l'azote reste lié à la pluviométrie. La fumure recommandée est de 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque avant semis et de 150 kg d'urée à 30-40 jours.

Un contrôle des résultats obtenus en essais sous-tractifs par diagnostic foliaire en grande culture, sur les parcelles recevant la fumure de croisière ci-dessus, avec enfouissement des résidus de récolte, amène aux conclusions suivantes :

- Le niveau de l'alimentation azotée paraît satisfaisant.
- La question de la teneur en azote mériterait d'être approfondie sous l'angle de l'évolution au cours du cycle du cotonnier.
- Le problème du soufre se pose en année humide.

- Les indices de nutrition en phosphore sont satisfaisants et le niveau de fertilisation phosphorée peut être maintenu.
- Le niveau du potassium s'avère satisfaisant pour l'instant. Il faut suivre son évolution dans le temps.
- La cote d'alerte paraît atteinte pour le bore. Il semblerait que cet élément doit figurer dans la fumure d'entretien, au cours des prochaines années, si l'on veut éviter la carence ou même la simple déficience.

L'assolement coton-antaka

Sur sol faiblement alluvionné, des essais non statistiques avaient permis de mettre en évidence un effet positif de la jachère à antaka, en 1968-69 et 1970.

Cette question a été reprise dans un dispositif statistique sur sol récemment alluvionné. En première année de coton après antaka, le rendement est de 2366 kg/ha et s'avère significativement supérieur à celui obtenu en coton continu (2399 kg/ha). Il en est de même en deuxième année de coton après antaka.

Les herbicides

Le problème de l'enherbement, qui était d'une gravité particulière, comme pour l'ensemble des sols riches, a été résolu d'une façon satisfaisante par les traitements herbicides à base de trifluraline en pré-semis et par le fluométuron en postsemis. Des accidents ont été observés avec l'association amétryne-prométryne. Les essais herbicides devraient se poursuivre et s'orienter vers des produits de remplacement, dans l'éventualité d'une modification de la flore adventice.

LE BASSIN DE LA TSIRIBIHINA

Il s'agit d'une zone très continentale située sur les premiers contreforts des Hauts-Plateaux. Cette région paraît constituer une zone charnière entre la culture pluviale et la culture de décrue. Comme on le verra plus loin, cette vocation bâtarde n'est pas forcément favorable.

La culture de décrue se pratique sur des sols alluvionnaires généralement inondés au cours de la saison des pluies que l'on appelle baibos. Les semis sont effectués après le retrait des eaux, c'est-à-dire au début ou au cours de la saison sèche, et la végétation a lieu d'avril à novembre, c'est-à-dire durant l'automne et l'hiver austral. La culture pluviale se déroule dans des conditions normales, c'est-à-dire de novembre à mai.

Dans le bassin de la Tsiribihina, les températures de saison sèche se révèlent plus basses que celles observées dans les baibos du nord-ouest où se pratique normalement la culture de décrue.

Dans les essais agronomiques, l'effet limitant des basses températures s'est traduit par un nivellement des rendements, même lorsque se manifestaient des différences de développement végétatif (en faveur de la fumure azotée) ou du nombre de fleurs (en faveur de la localisation en profondeur de l'urée). De même, on n'a pu mettre en évidence un effet positif d'apports de bore au sol ou en pulvérisations foliaires dans des conditions où l'on avait observé, l'année précédente, des symptômes de carence en cet élément.

Le principal facteur limitant en culture de décrue étant le froid, on ne peut résoudre le problème que par utilisation de variétés résistantes aux basses températures, dont on a entrepris l'introduction et l'amélioration. En attendant, la culture de décrue à grande échelle est pratiquement abandonnée. A noter que cette culture se poursuit en paysannat, là où il n'y a pas possibilité de culture de saison des pluies.

La culture de saison des pluies n'est possible qu'en baibo très haut ou en baibos de petits bassins versants où les crues sont très brèves et non violentes (cas de Betalatala, par exemple), ou hors baibos sur sols ferrugineux tropicaux valables. Cette culture se développe en petites unités.

Les problèmes agronomiques sont l'exubérance végétative (essais d'écimage à poursuivre), la satisfaction des besoins en azote et soufre et le désherbage chimique. Sur le plan variétal, il faudrait s'orienter vers une variété à faible développement végétatif et tolérante au faux-mildiou (*Ramularia areola*).

LE MOYEN-OUEST

Cette zone est située encore plus à l'intérieur des terres que la Tsiribihina, et l'on y rencontre des pénéplaines dont l'altitude atteint et dépasse 1 000 mètres.

Cette région n'est pas actuellement en production, mais elle est caractérisée par une nette carence en phosphore, et il faudrait trouver une culture suffisamment rentable pour amortir l'investissement que représente le redressement de la déficience phosphatée, car cet objectif ne peut être atteint avec les cultures vivrières autoconsommées.

Un essai de comportement mis en place en 1971-72 en condition de moyenne altitude (1 000 m), sur sol ferrallitique (Ankazomiriotra), a montré qu'il était possible, sur un sol précédemment cultivé et ayant reçu une fumure de redressement ainsi qu'une fumure basée sur les besoins de la plante, d'obtenir un rendement de l'ordre de 2 400 kg/ha. Ce rendement permettrait (compte tenu des prix des engrais au moment de l'essai) de rentabiliser cette fumure et de faire bénéficier les cultures vivrières suivantes de ses arrière-effets. Cet essai a montré également que le cycle végétatif du cotonnier y était nettement plus long (au moins un mois) qu'en basse altitude, et qu'il y avait lieu d'adapter le calendrier des traitements insecticides à ces conditions. À signaler les

résultats intéressants obtenus en essais de comportement, dans des conditions écologiques comparables, dans la sous-préfecture d'Ambalavao : 2 570 kg/ha, à Ambalavao, sur sol ferrallitique avec fumure de redressement et fumure d'entretien ; 2 605 kg/ha à Ividia, sur colluvions avec fumure de redressement seule.

Les résultats agronomiques ont donc été relativement encourageants. Il restait toutefois à résoudre un problème variétal, car le cycle s'allonge d'environ 30 jours dans ces conditions d'altitude et la maturité des dernières récoltes n'est pas satisfaisante, en raison des froids précoces. Les variétés américaines réputées tolérantes au froid (Paymaster 111 A) ont été décevantes. Il conviendrait de poursuivre les recherches en faisant appel à certaines variétés à cycle court du bassin méditerranéen.

Ce programme, débuté peu de temps avant le départ de l'I.R.C.T., mériterait que l'on s'y attache, car le coton pourrait constituer la culture de rente susceptible d'améliorer sensiblement les cultures vivrières par ses arrière-effets. En outre, le contexte socio-économique deviendra plus favorable lorsque les aménagements routiers projetés pourront assurer le désenclavement de cette région.

CONCLUSIONS GENERALES

La culture irriguée dans la plaine de Tuléar

Les problèmes essentiels et d'actualité, dans le domaine de la recherche, sont abordés dans une série d'essais pérennes : rôle de l'enfouissement des résidus de récolte ; enfouissement et fertilisation ; rôle de la culture de pois du Cap dans la nutrition azotée du cotonnier.

Il conviendrait de mettre au point une méthodologie permettant de tenir compte des arrière-effets de la fumure azotée dans l'étude des doses d'azote.

Le problème du phosphore serait suivi par diagnostic foliaire.

Le problème de la salure serait étudié par la station de Tanandava.

Compte tenu des résultats techniques acquis, la vulgarisation pourrait se fixer un certain nombre d'objectifs de développement.

L'amélioration des techniques culturales permettant, sans fertilisation, d'atteindre des rendements de l'ordre de 2,5 t/ha, il faudrait, dans un premier temps, pouvoir améliorer le matériel de culture attelée (labour plus profond, affinage des sols avant semis, mécanisation des entretiens) pour atteindre ce niveau de production. La seconde étape consisterait dans l'enfouissement des résidus de récolte et dans une fumure azotée modérée à 70 jours. Dans un tel contexte, les traitements phytosanitaires manuels restent possibles. Dans ces conditions, un paysan a obtenu, en 1973-74, 3 479 kg/ha sans engrais, 4 294 kg/ha avec 300 kg d'urée, avec des traitements manuels sur alluvions moyennes.

Le niveau de 3,5 t/ha étant atteint, un choix serait à faire : soit diversification des cultures (assolement coton - maïs - pois du Cap) qui permettrait de maintenir le volume de la production cotonnière en apportant un appoint de culture de rente (pois du Cap)

et de cultures vivrières (maïs); soit passage à la culture industrielle, avec fertilisation azotée plus importante et traitement par avion (niveau de rendement compris entre 4 t et 4,5 t/ha).

Toutefois, la formule d'assolement coton - maïs - pois de Cap nécessite une étude préalable, actuellement en cours, permettant d'envisager, outre les problèmes de calendrier agricole et de fertilisation minérale, l'incidence phytosanitaire de la culture de maïs sur le coton et la possibilité de coexistence des deux cultures.

Mise en valeur des sables dunaires

L'étude mériterait d'être reprise dans le cadre des essais en station (parcelle récemment aménagée) et/ou sur une parcelle Sédéfita, sous l'angle agronomie générale.

Il s'agirait d'une étude assez longue, dont les résultats ne peuvent être attendus avant 10 ans. De plus, ces travaux, conduisant à une véritable amélioration foncière des sols, devraient permettre de dégager, non seulement des solutions techniques, mais également des éléments en vue d'une étude de la rentabilité de l'opération. Sinon, il est peu probable que le projet de mise en valeur, bâti un peu hâtivement une première fois, soit réexaminé à nouveau.

La culture irriguée dans le périmètre du Bas-Mangoky

Les résultats exposés dans cette étude font ressortir les points suivants :

- Les techniques de la culture du coton sont maintenant au point.
- L'irrigation à la raie peut être conduite sur tous les types de sol, mais avec des longueurs de raies convenables.
- La fertilisation et le maintien de la fertilité font l'objet de recherches continues. Dans l'état actuel de nos connaissances, la rotation proposée (3 ans de coton - 1 an de *Dolichos lablab*) doit permettre de conserver le potentiel des sols légers. Une fumure potassique de restitution devrait être généralisée et la fumure azotée sera de l'ordre de 90 kg/ha de N. Le broyage et l'enfouissement des cotonniers sont généralisés depuis 1972. Il faut en suivre les effets qui sont encore mal connus sur ces types différents de sol.
- La salure qui se développe actuellement sur le périmètre est, sans doute, le phénomène le plus inquiétant et celui qui devra le plus retenir l'attention des responsables. Si des travaux de drainage profond ne sont pas entrepris au cours des dix prochaines années, il est probable que de nombreuses terres ne seront plus cultivables. En attendant que la décision soit prise, il revient aux services d'encadrement de mettre sur pied les mesures simples proposées pour l'économie de l'eau.

— La diversification des cultures devra se faire compte tenu des impératifs économiques et humains. Arachides, maïs, canne à sucre, par exemple, peuvent se substituer à la culture cotonnière. Le choix peut ne pas être technique, mais indiqué par d'autres préoccupations. La recherche agronomique ne pourra persévérer dans cette voie que si des objectifs précis lui sont indiqués. L'assolement coton - *Dolichos lablab* permet déjà une intensification de l'élevage, si tel est l'objectif à atteindre.

La riziculture doit être maintenue à un très haut niveau, afin d'assurer la rentabilisation maximale des terres aménagées.

La culture pluviale et de décrue

Les problèmes généraux

La question de la fertilisation minérale prend, dans le contexte économique actuel, un caractère particulièrement préoccupant dans le cas des sols ferrugineux tropicaux, en particulier, car les marges bénéficiaires deviennent très étroites. Nous pensons qu'il serait rentable à moyen terme de préciser dès à présent les fonctions de production à partir d'essais soustractifs répartis dans les diverses zones écologiques, sous forme d'essais pluriannuels (élimination de l'effet climat) et d'essais pérennes (intégration des arrière-effets). Ceci permettrait un ajustement de premier ordre des fumures aux besoins en assurant une économie non négligeable.

Dans un deuxième temps, à partir des données obtenues précédemment, on pourrait concevoir des essais de doses correspondant à un ajustement plus précis.

Ceci concerne les éléments S, P, K et B. Pour ce qui est de l'azote, les techniques mises au point en culture irriguée pourraient être utilisées pour définir les modalités d'application en culture pluviale.

La rotation coton-antaka, qui a amené des résultats positifs dans la plupart des zones, devrait être associée au programme précédent, pour étudier une éventuelle économie d'éléments fertilisants, ne serait-ce que dans un objectif à moyen terme.

Le retour au sol des résidus de la culture (tiges, carpelles, feuilles, racines) devrait être envisagé sérieusement, dans le cadre de la culture paysannale.

En effet, il suffit de se reporter à l'étude des exportations d'éléments fertilisants, selon CHRISTMIS, pour un rendement en coton-graine de l'ordre de 1,4 t/ha, pour en mesurer l'intérêt.

En retournant les résidus au sol, on y reincorpore 61,6 % de l'azote, 61,6 % du P_2O_5 , 78,7 % du K_2O , 73,1 % du MgO et 94,8 % du CaO prélevés par la culture.

L'équivalence en engrais commerciaux à l'hectare de ces exportations est la suivante :

150 kg d'urée à 45 %,
60 kg de triple superphosphate à 45 %,
140 kg de sulfate de potasse à 48 %,
100 kg de dolomie,

Total : 450 kg/ha.

Ajoutons que l'enfouissement rapporte au sol, dans les conditions de rendement indiquées précédemment, environ 1,5 t de matière sèche. Cette dernière est perdue avec le brûlis, ainsi qu'une bonne partie des cendres dispersées par le vent.

Toutefois, il faut préciser que si le broyage est facilement réalisable en culture motorisée (gyrobroyeur, shredder), il n'existe pas, pour le moment, de solution en culture attelée.

Les problèmes propres à chaque zone

Zone d'Ihosy

Il semblerait que le manque de main-d'œuvre constitue un frein à l'extension des surfaces en culture cotonnière dans cette zone.

Dans cette optique, il était normal de concentrer la production sur les sols les plus aptes à cette culture, c'est-à-dire les alluvions vertiques.

Si la culture devait s'étendre aux sols ferrugineux tropicaux, le problème des sols jaunes devrait être examiné à nouveau, en raison des difficultés de développement rencontrées sur ces sols (toxicité manganique?).

Secteur d'Ankazoabo

Il n'y a pas de problème technique dans cette zone qui n'ait pas trouvé de solution :

- Fumure phospho-azotée sur certains sols, azotée sur les autres.
- Passage par la jachère d'antaka, d'une manière systématique.
- Semis précoces sur labour en sec, entretien des courbes de niveau, contrôle des adventices.

Tout ceci permettrait d'assurer des rendements élevés.

Moyen Fiherenana

Les sols méditerranéens de cette zone constituent une extrémisation des conditions de culture cotonnière.

Les vertisols et les sols hydromorphes paraissent offrir des conditions plus favorables.

Cette zone est intéressante pour la multiplication Stoneville, en conditions défavorables à la verticilliose.

En définitive, les possibilités d'extension sont écologiquement limitées, malgré la proximité de Tuléar.

La zone Manombo-Androka

Elle présente des possibilités certaines de développement. Les conditions de sols assez variées nécessitent une expérimentation régionale importante, tant agronomique que variétale.

La région de Morondava

Sur les sols d'Ankilivalo et de Bevantaza, se posent des problèmes de maintien de fertilité dont la solution repose sur la fertilisation minérale, les résidus de récolte et l'assolement coton-antaka.

Zone Tsiribihina

La reprise de l'expérimentation et du développement suppose un désenclavement préalable de ces zones.

Moyen-Ouest

Des résultats encourageants ont été obtenus. Des perspectives intéressantes de développement seraient envisageables, si les prix et la disponibilité des fertilisants chimiques s'amélioraient.